



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## SLOUPOVÝ VÝLOŽNÍKOVÝ JEŘÁB

PILLAR JIB CRANE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Flídr

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

BRNO 2019

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Lukáš Flídr**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Sloupový výložníkový jeřáb

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Konstrukce sloupového jeřábu včetně důležitých pevnostních výpočtů dle zadaných parametrů:

- délka vyložení ramene 3 100 mm,
- výška zdvihu 6 450 mm,
- nosnost 1 400 kg.

### Cíle bakalářské práce:

Vypracovat technickou zprávu s rozбором konstrukce, s výběrem vhodného kladkostroje a s důležitými výpočty.

Nakreslit konstrukční výkres sestavy sloupového jeřábu dle zadaných parametrů a detailní výkres sloupu.

### Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUT IUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

BIGOŠ, Peter, Jozef KULKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.

POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLIŠKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.

KOVÁČ, Milan a Vladimír KLAPITA. Manipulácia s materiálom v doprave. 1. vyd. V Žiline: EDIS, 2003. ISBN 8080701741.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem sloupového jeřábu, včetně důležitých pevnostních výpočtů. Tato práce dále obsahuje výběr vhodného kladkostroje a výkresovou dokumentaci v podobě sestavy jeřábu a výkresu sloupu.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Sloupový výložníkový jeřáb, výložník, sloup, zdvihací ústrojí, pevnostní výpočty

## ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the structural design of the column crane, including important strength calculations. This thesis also includes a selection of a suitable hoist and drawing documentation in the form of a crane assembly and a pole drawing.

## KEYWORDS

Pillar jib crane, jib, pillar, hoist, strength calculation

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FLÍDR, L. *Sloupový výložníkový jeřáb*. Brno, 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 60 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Maláška, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2019

.....

Lukáš Flídr

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé práce panu doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. za jeho odborné rady při psaní této práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu.

## OBSAH

Úvod .....	10
1. Rozdělení sloupových jeřábů dle konstrukčního řešení výložníku .....	11
1.1 Výložník umístěn v patkách s horní podpěrrou .....	11
1.2 Výložník umístěn v patkách s dolní podpěrrou.....	12
1.3 Výložník umístěn na centrálním čepu .....	13
2. Konstrukční návrh jeřábu .....	14
2.1 Základní parametry jeřábu .....	14
2.2 Volba konstrukčního řešení výložníku .....	14
2.3 Volba materiálů.....	15
3. Volba kladkostroje.....	16
3.1 Porovnání .....	16
3.2 Výběr konkrétního modelu .....	17
4. Určení kombinace zatížení jeřábu .....	18
4.1 Charakteristika provozu jeřábu .....	18
4.2 Stanovení součinitelů zatížení.....	18
5. Výpočet jeřábu.....	19
5.1 Výpočet zatížení .....	19
5.1.1 Minimální průřezový modul v ohybu.....	19
5.1.2 Skutečný ohybový moment působící na výložník.....	21
5.2 Výpočet sil ve vazbách .....	22
5.2.1 Kinematický rozbor soustavy .....	22
5.2.2 Určení pohyblivosti soustavy .....	22
5.2.3 Uvolnění soustavy .....	22
5.2.4 Statický rozbor.....	24
5.2.5 Výpočet reakcí ve výložníku .....	25
5.2.6 Výpočet reakcí ve sloupu .....	25
5.3 Výsledné vnitřní účinky.....	26
5.3.1 VVÚ výložníku .....	26
5.3.2 VVÚ sloupu.....	30



5.4	Vyhodnocení VVÚ .....	33
5.4.1	Výložník .....	34
5.4.2	Sloup .....	34
5.5	Výpočet sloupu .....	35
5.5.1	Průřezový modul v ohybu .....	35
5.5.2	Skutečný součinitel bezpečnosti .....	36
5.6	Kontrola výložníku .....	36
	Součinitel bezpečnosti .....	37
5.7	Horní patka .....	37
6.	Návrh ložisek na mechanismus otoče .....	41
6.1	Spodní ložisko otoče .....	41
6.2	Horní ložisko otoče .....	42
7.	Návrh ukotvení sloupu .....	43
8.	Kontrola svarů .....	45
8.1	Stanovení dovoleného napětí na svar .....	45
8.2	Svar podpěry a výložníku .....	45
8.3	Svar čepu a příčnicku .....	48
9.	Kontrola vzpěrné stability sloupu .....	49
10.	Volba příslušenství .....	51
10.1	Koncové nárazníky .....	51
10.2	Kabelová vlečka .....	52
10.3	Rádiový ovladač .....	52
	Závěr .....	53
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	56
	Seznam příloh .....	60

## ÚVOD

Jeřáby jsou dopravní stroje z kategorie zdvihadel a jsou součástí většiny moderního podniků, kde se nějakým způsobem manipuluje s materiálem, který přesahuje svou hmotností a charakterem lidské možnosti a síly. Svou činností usnadňují, zrychlují nebo vůbec umožňují práci, která by byla jinak pomalá a neefektivní.

Sloupový jeřáb patří do kategorie otočných výložníkových zařízení. Důležité je pro něj pevný základ, aby mohl být náležitě ukotven. Jeho hlavní části konstrukce jsou tvořena svislým sloupem a k němu připojeným výložníkem.

Zdvih a posuv materiálu jsou zajištěny elektromotorem nebo ručně. Tento typ jeřábu je vhodný pro použití ve strojírenství pro manipulaci s těžkými břemeny v rámci jednoho pracovního úseku. Díky své jednoduché konstrukci, hospodárnému a bezpečnému provozu, vysoké životnosti a snadnému ovládání to jsou často ekonomicky velmi úsporná řešení. Mezi jeho nevýhody patří hlavně kruhová dráha výložníku.

# 1. ROZDĚLENÍ SLOUPOVÝCH JEŘÁBŮ DLE KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ VÝLOŽNÍKU

Každý výrobce značí jednotlivé typy sloupových jeřábů jinak, ale z hlediska uložení výložníku jsou stejné.

## 1.1 Výložník umístěn v patkách s horní podpěrrou



Obr. 1: Konstrukční řešení výložníku umístěného v patkách s horní podpěrrou [14]

Výložník je tvořen převážně dutými ocelovými „C“ profily. Otočný konec profilu výložníku je přivařen k příčce čtvercového či kruhového profilu. Konce této příčky jsou opatřeny čepy. Celá tato sestava je většinou uložena ve 2 ložiscích. Ložiska jsou umístěna v ložiskových domcích přišroubovaných k patkám.

Tímto řešením je dán velmi dobrý poměr nosnosti k vlastní váze výložníku a z toho plynoucí výhoda snadné ruční manipulace. Nevýhodou je snížení zdvihu kvůli podpěře a omezení maximálního rozsahu otáčení na 270°. Tento typ je užíván především pro manipulaci s lehčími břemeny do 1t a délkou vyložení do 5m.

Tabulka 1: Závislost nosnosti na délce vyložení [14]

Nosnost kg	Vyložení (m)									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
80										
125										
250										
500										
1000										
1600										
2000										

## 1.2 Výložník umístěn v patkách s dolní podpěrou



Obr. 2: Konstrukční řešení výložníku umístěného v patkách s horní podpěrou [14]

Výložník tohoto typu je tvořen převážně plnostěnnými ocelovými profily (I, IPE). Tento typ je konstruován na vyšší nosnost a poskytuje vyšší zdvih kladkostroje při stejné celkové výšce než předchozí verze. Konstrukční řešení výložníku je shodné s předchozím typem. Rozdíl je v umístění podpory.

Toto řešení zaručuje navýšení nosnosti, délky vyložení a při stejné celkové výšce i vyšší zdvih oproti předešlému typu. Klade však větší nároky na ukotvení. Rozsah otáčení zůstává 270°, nosnost dosahuje až 2t.

Tabulka 2: Závislost nosnosti na délce vyložení [14]

		Vyložení v m																	
		2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	
Nosnost v kg	80																		
	125																		
	250																		
	500																		
	800																		
	1,000																		
	1,600																		
	2,000																		

### 1.3 VÝLOŽNÍK UMÍSTĚN NA CENTRÁLNÍM ČEPU



Obr. 3: Konstrukční řešení výložníku umístěného na centrálním čepu [14]

Jedná se o nejrobustnější konstrukci, kdy výložník je tvořen výhradně plnostěnnými profily a je uložen v ložisku na čepu horní strany sloupu. Na spodní podpěře je umístěna kladnice se dvěma ložisky, které se odvalují po prstenci sloupu. Konstrukce umožňuje, plný rozsah otáčení výložníku o 360°.

Umístění výložníku na horní stranu sloupu umožňuje nejvyšší možnou výšku zdvihu, při stejné maximální výšce ve srovnání s předchozími typy. Nevýhoda spočívá v použitém počtu ložisek a jejich dimenzování zejména na otlačení a nutnost použití kruhového prstence s kladnicí.

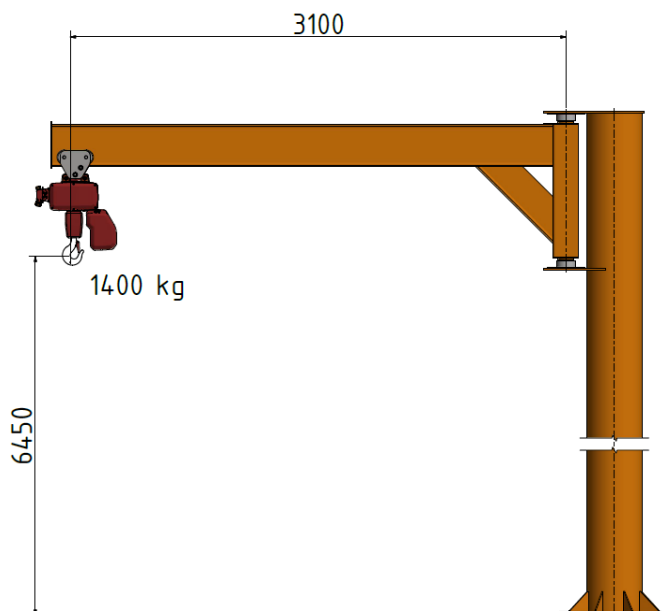
Jeřáby tohoto typu můžou dosahovat nosnosti až 20t při délce vyložení 5m.

Tabulka 3: Závislost nosnosti na délce vyložení [14]

		Vyložení v m																					
		2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	
Nosnost v kg	125																						
	250																						
	500																						
	1.000																						
	1.600																						
	2.000																						
	2.500																						
	3.200																						
	4.000																						
	5.000																						
	6.300																						
	8.000																						
	10.000																						
	12.500																						
16.000																							
20.000																							

## 2. KONSTRUKČNÍ NÁVRH JEŘÁBU

### 2.1 Základní parametry jeřábu



Obr. 4: Základní schéma

Délka vyložení ramene: 3 100 mm – Maximální vzdálenost háku kladkostroje od osy otáčení.

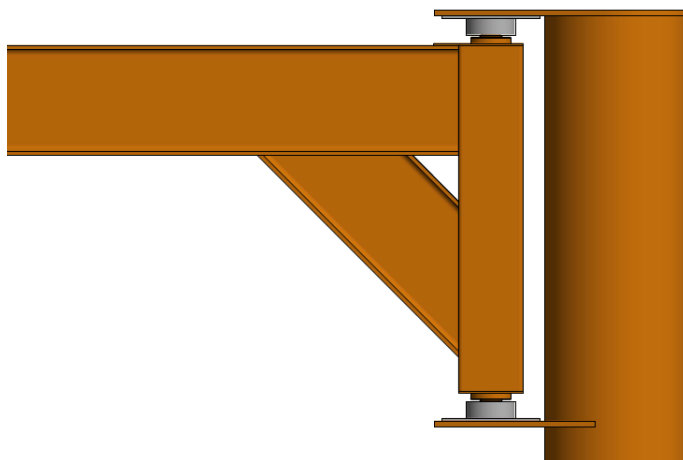
Výška zdvihu : 6 450 mm – Vzdálenost od horní polohy háku k podlaze.

Nosnost: 1 400 kg – Hmotnost, na kterou se bude dimenzovat daný jeřáb.

### 2.2 VOLBA KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ VÝLOŽNÍKU

Zadání práce přesně nedefinuje, jaký rozsah otáčení výložníku má konstrukce jeřábu mít, lze vzhledem k zadané délce vyložení a nosnosti volit mezi typem výložníku s dolní podpěrrou uloženého v patkách a výložníkem uloženém na centrálním čepu.

Volím uložení výložníku v patkách. Toto řešení je levnější na výrobu, díky menšímu počtu konstrukčních prvků (menší počet ložisek, absence kruhového opěrného prstence, kladnice a kroužkového sběrače) a pro zadanou nosnost a délku vyložení dostačuje. Hlavní část výložníku bude z profilu I. Otáčení výložníku bude realizováno ručně.



*Obr. 5: Detail uložení zvolené varianty*

## 2.3 VOLBA MATERIÁLŮ

Jednotlivé prvky konstrukce se budou spojovat svařováním, z toho se tedy musí vycházet při volbě materiálu. V konstrukci jsou použity tyto materiály:

[9] **S355J2H** (1.0576) dle EN 10219-1; (ekvivalentní označení dle ČSN je 11 503).

Nelegovaná konstrukční ocel. Na svařované duté profily tvářené za studena, bez následného tepelného zpracování, z nelegovaných a jemnozrnných konstrukčních ocelí (kruhového, čtvercového, obdélníkového průřezu).

Vhodná ke svařování všemi svařovacími postupy. Ocel se zaručenou hodnotou nárazové práce při teplotě do  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Použití: Výložník, příčník, příložky, podpěry, sloup, patky.

[9] **16MnCr5** (1.7131) dle EN 10084; (ekvivalentní označení dle ČSN je 14 220).

Ocel legovaná, ušlechtilá, vhodná k cementování a svařování.

Použití: Čepy.

### 3. VOLBA KLADKOSTROJE

#### 3.1 POROVNÁNÍ

Výběr je zaměřen na řetězové kladkostroje. Při výběru jsem se zaměřil na kladkostroje řetězové. Preferoval jsem ty, které mají elektrický zdvih i pojezd a v obou případech umožňují dvě pracovní rychlosti. Důležitým kritériem byla také cena a hmotnost. Při výběru jsem zohlednil také dostupnost servisu. jediným kritériem pro výběr je potřebná nosnost 1 400 kg.

Tabulka 4. Srovnání řetězových kladkostrojů [6][7][8][9]

Výrobce		GIGA	ABUS	LIFTKET	DEMAG
Označení		CH3 1600,5-JE	GM8 1600.8-1	091/55	DC-Pro 10-U22
Nosnost	[Kg]	1600	1600	1600	1600
Rychlost zdvihu	[m/min]	1,25/5	1,3 / 8,0	2/8	1,5/6
Klasifikace mechanismu ISO/FEM	[-]	M5/2m	M5/2m	M5/2m	M5/2m
Výkon motoru zdvihu	[kW]	1,9/0,45	2,5/0,4	3/0,75	3/0,75
Rychlost pojezdu	[m/min]	5/20	5/20	5/20	4,5/18
Výkon motoru pojezdu	[kW]	0,06/0,25	0,05/0,2	0,04/0,18	0,04/0,18
Výška zdvihu	[m]	7	8	7	8
Počet řetězů	[-]	2	2	1	1
Hmotnost <sup>1</sup>	[Kg]	87	116	148	78

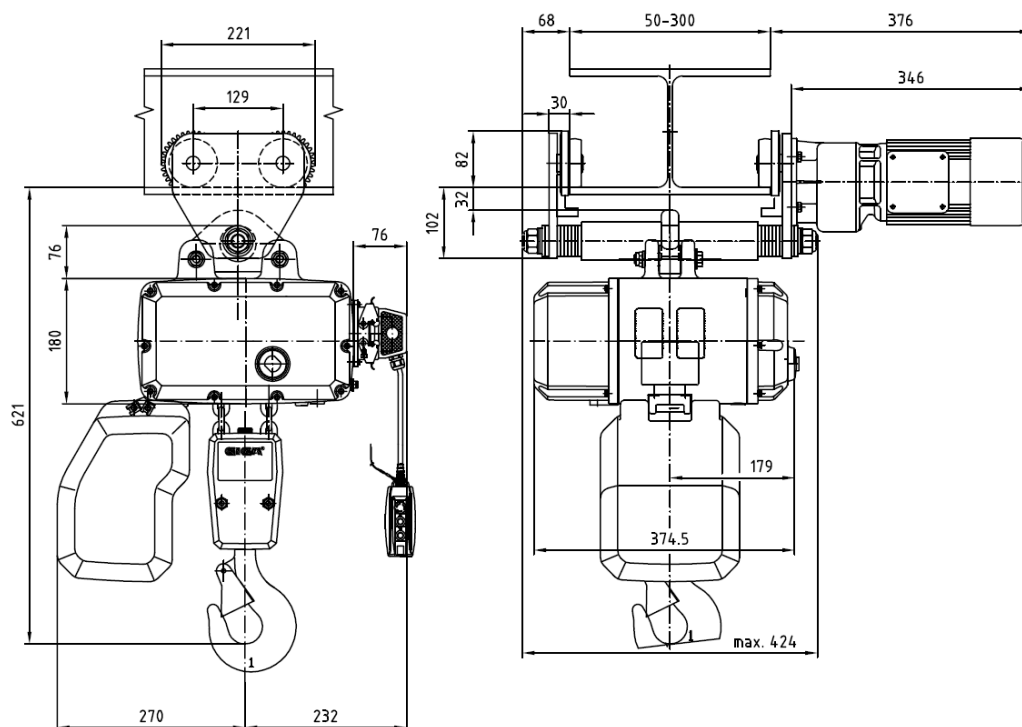
<sup>1</sup>součet hmotnosti pojezdu a kladkostroje pro uvedenou výšku zdvihu

V uvedené tabulce jsem porovnával produkty podle nosnosti a snažil se vybírat produkty s podobnou klasifikací mechanismu. Všechny jsou vybaveny elektrickým kladkostrojem s elektrickým pojezdem. Oba pohony jsou dvourychlostní. Napájení všech variant je třífázové 400V/50Hz. Uvedené hmotnosti jsou přepočítány na zdvih 7 m. Standardní dodávaná délka zdvihu je 3 m u všech výrobců.



### 3.2 VÝBĚR KONKRÉTNÍHO MODELU

Na základě porovnání dle Tab. č.4 byl zvolen kladkostroj dodávaný firmou GIGA, s.r.o., s typovým označením CH3 1600.5-JE. Rozhodující bylo, že z výše uvedených kladkostrojů má nízkou hmotnost a dodavatel kladkostroje navíc zaručuje nonstop servisní službu.



Obr.6: Kladkostroj GIGA CH3 1600,5-JE [6]

#### Další parametry zvoleného kladkostroje [6]:

Počet sepnutí .....	180 c/h
Zatěžovatel.....	30 %
Pracovní teplota.....	-10°C až 40°C
Provozní a ovládací napětí.....	400 V, 50 Hz
Krytí.....	IP54/IP55
Ovladač.....	tlačítkový rádiový ovladač
Pojistka proti přetížení.....	přetěžovací spojka v převodovce
Povrchová úprava.....	barva červená
Teoretická životnost.....	12 500 hodin

## 4. URČENÍ KOMBINACE ZATÍŽENÍ JEŘÁBU

[3] Obecně návrh strojního zařízení musí vyhovovat různým bezpečnostním požadavkům, které jsou deklarovány v jednotlivých normách. V této práci bude postup návrhu jeřábu řešen dle aktuálně platné normy ČSN EN 13001-2.

### 4.1 CHARAKTERISTIKA PROVOZU JEŘÁBU

- zdvihová třída H2
- druh provozu D2
- spektrum napětí S1
- provozní skupina J3

### 4.2 STANOVENÍ SOUČINITELŮ ZATÍŽENÍ

Součinitel zatížení od jmenovitého břemene  $\gamma_{lo}$  :

$$\gamma_{lo} = 1,3$$

Součinitel zatížení od vlastní hmotnosti  $\gamma_g$ :

$$\gamma_g = 1,1$$

Dynamický součinitel zdvihu  $\delta_z$ :

$$\delta_z = 1,15 + 0,15 \cdot v_z \quad (1)$$

$$\delta_z = 1,15 + 0,15 \cdot v_z$$

$$\delta_z = 1,162$$

Kde:  $v_z = 5 \text{ m/min} = 0,083 \text{ m/s}$ , rychlost zdvihu kladkostroje

Dynamický součinitel pojezdu  $\delta_t$ :

$$\delta_t = 1,1$$

## 5. VÝPOČET JEŘÁBU

### 5.1 VÝPOČET ZATÍŽENÍ

Výpočtová mez kluzu:

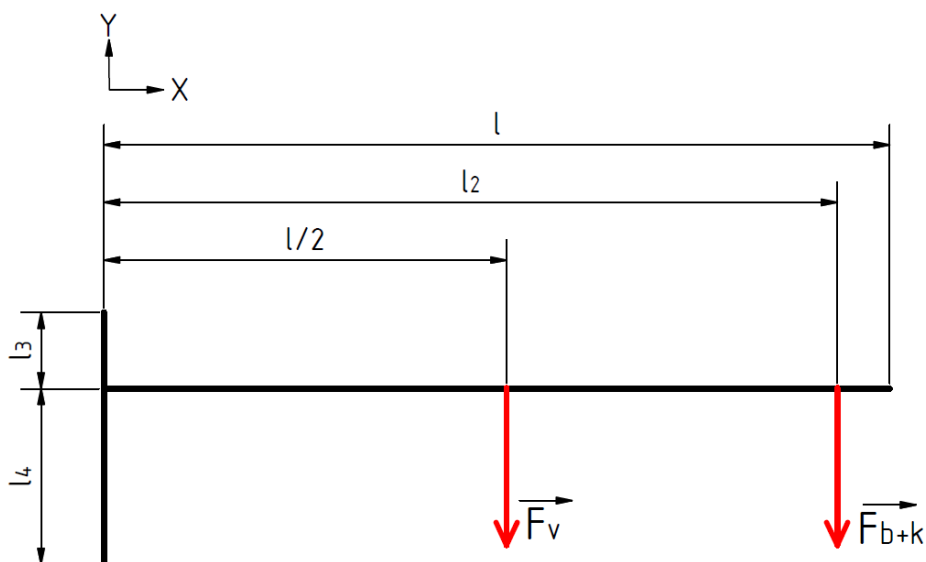
$$R_e = \frac{R_{e \min}}{k_n} \quad [MPa] \quad (2)$$

$$R_e = \frac{355}{2}$$

$$R_e = 177,5 \text{ MPa}$$

Kde:  $R_{e \min} = 355 \text{ MPa}$ , minimální mez kluzu materiálu  
 $k_n = 2$ , návrhový součinitel

#### 5.1.1 MINIMÁLNÍ PRŮŘEZOVÝ MODUL V OHYBU



Obr. 7 Schéma výložníku

Zatěžující síla od maximální hmotnosti břemene [3]

$$F_b = m_b \cdot g \cdot \delta_z \cdot \gamma_{l0} \quad [N] \quad (3)$$

$$F_b = 1\,400 \cdot 9,81 \cdot 1,162 \cdot 1,3$$

$$F_b \approx 20\,748 \text{ N}$$

Kde:  $m_b = 1\,400 \text{ kg}$ , maximální hmotnost břemene  
 $\delta_z = 1,162$ , dynamický součinitel zdvihu  
 $\gamma_{l0} = 1,3$ , oučinitel zatížení od jmenovitého břemena

**Zatěžující síla od vlastní hmotnosti kladkostroje [3]**

$$F_k = m_k \cdot \gamma_g \cdot \delta_t \cdot g \quad (4)$$

$$F_k = 87 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 9,81$$

$$F_b \approx 1\,033\,N$$

Kde:  $m_k = 87\,kg$ , Hmotnost kladkostroje

$\gamma_g = 1,1$ , Součinitel zatížení od vlastní hmotnosti

$\delta_t = 1,1$ , Dynamický součinitel pojezdu

**Zatěžující síla od kladkostroje a břemene [3]**

$$F_{b+k} = F_b + F_k \quad (5)$$

$$F_{b+k} = 20\,748 + 1\,033$$

$$F_{b+k} = 21\,781\,N$$

Kde:  $F_k = 1\,033\,N$ , Zatěžující síla od vlastní hmotnosti kladkostroje

$F_b = 21\,781\,N$ , Zatěžující síla od maximální hmotnosti břemene

**Ohybový moment od síly  $F_{k+b}$  :**

$$M_{o_{b+k}} = F_{b+k} \cdot l_2 \quad (6)$$

$$M_{o_{b+k}} = 21\,781 \cdot 3\,100$$

$$M_{o_{b+k}} = 67\,521\,100\,N \cdot mm$$

Kde:  $F_{k+b} = N$ , Zatěžující síla od kladkostroje a břemene

$l_2 = 3\,100\,mm$ , délka vyložení

**Průřezový modul v ohybu výložníku kose x:**

$$R_e = \frac{M_{o_{b+k}}}{W_{ovmin}} \Rightarrow W_{ovmin} = \frac{M_{o_{b+k}}}{R_e} \quad (7)$$

$$W_{ovmin} = \frac{67\,521\,100}{177,5}$$

$$W_{ovmin} = 380\,400\,mm^3$$

Kde:  $M_{o_{b+k}} = 67\,521\,Nm$ , Maximální ohybový moment zatěžující výložník

$R_{ev} = 177,5\,MPa$ , výpočtová mez kluzu výložníku

Jelikož ještě není brána v úvahu vlastní hmotnost výložníku, je volen profil IPE 270

( $W_x = 429\,cm^3$ )

### 5.1.2 SKUTEČNÝ OHYBOVÝ MOMENT PŮSOBÍCÍ NA VÝLOŽNÍK

Ohybový moment zvětšený o hmotnost výložníku.

**Hmotnost výložníku:**

$$m_v = l \cdot G_v \quad (8)$$

$$m_v = 36,1 \cdot 3,2$$

$$m_v = 115,5 \text{ kg}$$

Kde:  $G_v = 36,1 \text{ kg/m}$ , hmotnost 1 m IPE profilu

$l = 3\,200 \text{ mm}$ , délka ramene

**Zatěžující síla od hmotnosti výložníku:**

$$F_v = m_v \cdot g \quad (9)$$

$$F_v = 115,5 \cdot 9,81$$

$$F_v \approx 1\,133 \text{ N}$$

Kde:  $m_v = \text{kg}$ , hmotnost výložníku

**Ohybový moment od síly  $F_v$ :**

$$M_{O_v} = F_v \cdot \frac{l}{2} \quad (10)$$

$$M_{O_v} = 1\,133 \cdot \frac{3\,200}{2}$$

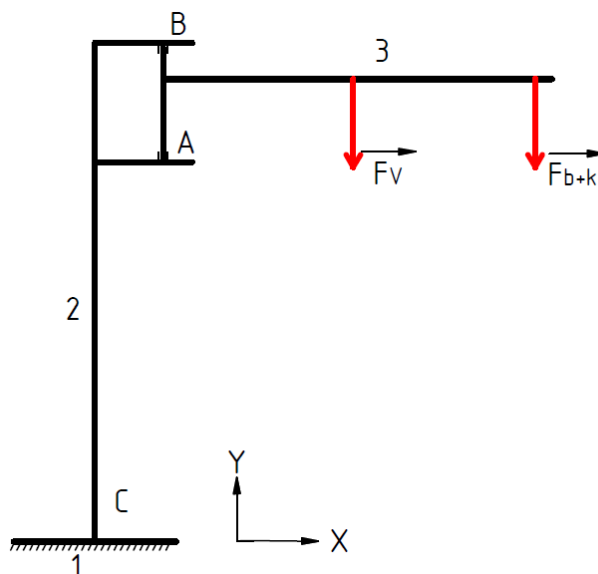
$$M_{O_v} = 1\,812\,800 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Kde:  $F_v = \text{N}$ , Zatěžující síla od hmotnosti výložníku

$l = 3\,200 \text{ mm}$ , délka ramene

## 5.2 VÝPOČET SIL VE VAZBÁCH

### 5.2.1 KINEMATICKÝ ROZBOR SOUSTAVY



Obr. 8: Schéma zatížení jeřábu

#### Určení typu vazeb

A – Rotační -  $\zeta_A = 2$

B – Obecná -  $\zeta_B = 1$

C – Vetknutí -  $\zeta_C = 3$

Kde:  $\zeta$  = počet stupňů volnosti dané vazby

### 5.2.2 URČENÍ POHYBLIVOSTI SOUSTAVY

$$i = (n - 1) \cdot i_v - (\zeta_A + \zeta_B + \zeta_C - \eta) \quad (11)$$

$$i = (3 - 1) \cdot 3 - (2 + 1 + 3 - 0)$$

$$i = 0$$

Kde:  $n = 3$ , Počet těles soustavy

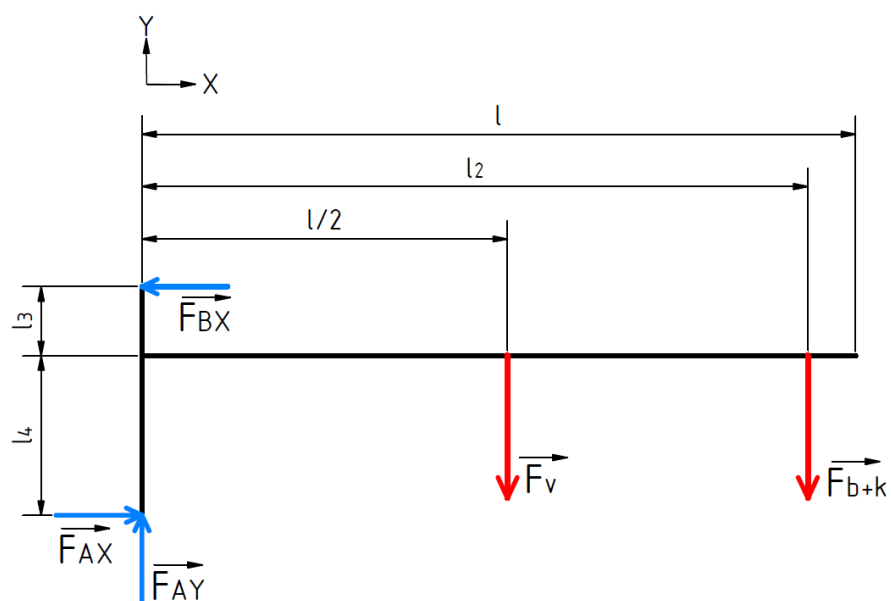
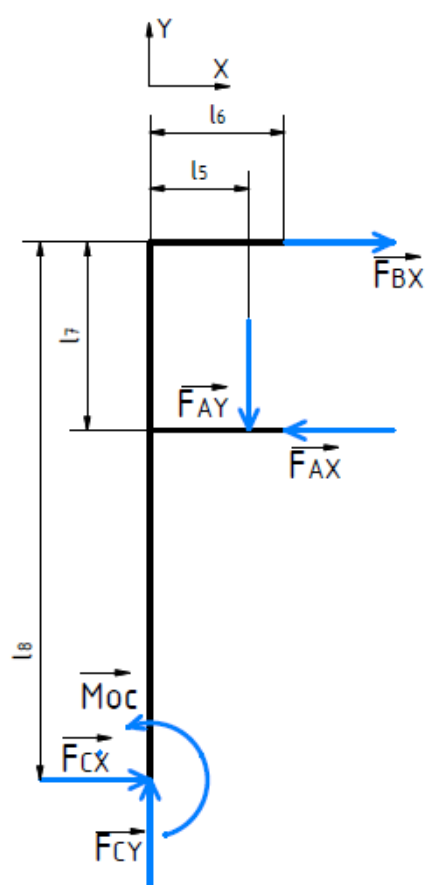
$i_v = 3$ , počet stupňů volnosti tělesa v rovině

$\eta = 0$ , počet deformačních parametrů omezených stykovými plochami

Soustava je v rovině uloženo s 0 stupni volnosti. Je tedy možné úlohu řešit staticky.

### 5.2.3 UVOLNĚNÍ SOUSTAVY

Při uvolňování těles soustavy je třeba při přechodu z tělesa 3 na těleso 2 dodržet zákon akce a reakce (síly ve vazbách budou stejně velké, ale opačně orientované).

**Uvolnění výložníku***Obr. 9 Uvolnění výložníku***Uvolnění sloupu***Obr. 10 Uvolnění sloupu*

### 5.2.4 STATICKÝ ROZBOR

#### Počet neznámých parametrů

$$NP = \{F_{BX}, F_{AX}, F_{AY}, F_{CX}, F_{CY}, M_{OC}\}$$

$$\mu_F = 5$$

$$\mu_M = 1$$

$$\mu_r = 0$$

$$\mu = \mu_F + \mu_M + \mu_r \quad (12)$$

$$\mu = 5 + 1 + 0$$

$$\mu = 6$$

Kde:  $\mu_F = 5$ , počet neznámých silových parametrů

$\mu_M = 1$ , počet neznámých momentových parametrů

$\mu_r = 0$ , počet neznámých polohových parametrů

#### Počet použitelných podmínek statické rovnováhy

$$v = (n - 1) \cdot (v_F + v_M) \quad (13)$$

$$v = (3 - 1) \cdot (2 + 1)$$

$$v = 6$$

Kde:  $n = 3$ , Počet těles soustavy

$v_F = 2$ , počet silových statických podmínek v rovinné soustavě

$v_M = 1$ , počet momentových statických podmínek v rovinné soustavě

#### Nutná podmínka statické určitosti

$$v = \mu \quad \wedge \quad \mu_M + \mu_r < v_M \quad (14)$$

$$6 = 6 \quad \wedge \quad 1 + 0 < 2$$

Kde:  $\mu = 6$ , počet neznámých parametrů

$v = 6$ , Počet použitelných podmínek statické rovnováhy

$\mu_M = 1$ , počet neznámých momentových parametrů

$\mu_r = 0$ , počet neznámých polohových parametrů

$v_M = 1$ , počet momentových statických podmínek v rovinné soustavě

Obě podmínky jsou splněny, úloha je staticky určitá a lze řešit.



### 5.2.5 VÝPOČET REAKCÍ VE VÝLOŽNÍKU

$$\Sigma F_X = 0$$

$$F_{BX} - F_{AX} = 0 \quad (15)$$

$$F_{BX} = F_{AX}$$

$$F_{AX} = 69\,334\,N$$

$$\Sigma F_Y = 0$$

$$F_{AY} - F_V - F_{b+k} = 0 \quad (16)$$

$$F_{AY} = F_V + F_{b+k}$$

$$F_{AY} = 1\,133 + 21\,781$$

$$F_{AY} = 23\,143\,N$$

$$\Sigma Mo_A = 0$$

$$F_{BX} \cdot (l_3 + l_4) - F_V \cdot \frac{l}{2} - F_{b+k} \cdot l_2 = 0 \quad [N] \quad (17)$$

$$F_{BX} = \frac{F_V \cdot \frac{l}{2} + F_{b+k} \cdot l_2}{(l_3 + l_4)}$$

$$F_{BX} = \frac{1\,133 \cdot \frac{3,2}{2} + 21\,781 \cdot 3,1}{(0,3 + 0,7)}$$

$$F_{BX} = 69\,334\,N$$

### 5.2.6 VÝPOČET REAKCÍ VE SLOUPU

$$\Sigma F_X = 0$$

$$F_{BX} - F_{AX} + F_{CX} = 0 \quad (18)$$

$$F_{CX} = F_{AX} - F_{BX}$$

$$F_{CX} = 69\,334 - 69\,334$$

$$F_{CX} = 0\,N$$

$$\Sigma F_Y = 0$$

$$F_{CY} - F_{AY} = 0 \quad (19) \quad (20)$$

$$F_{CY} = F_{AY}$$

$$F_{CY} = 23\,143\,N$$

$$\Sigma M_{O_C} = 0$$

$$M_{OC} - F_{BX} \cdot l_8 + F_{AX} \cdot (l_8 - l_7) - F_{AY} \cdot l_5 = 0 \quad (21)$$

$$M_{OC} = F_{BX} \cdot l_8 - F_{AX} \cdot (l_8 - l_7) + F_{AY} \cdot l_5$$

$$M_{OC} = 69\,334 \cdot 7,5 - 69\,334 \cdot (7,5 - 1) + 23\,143 \cdot 0,35$$

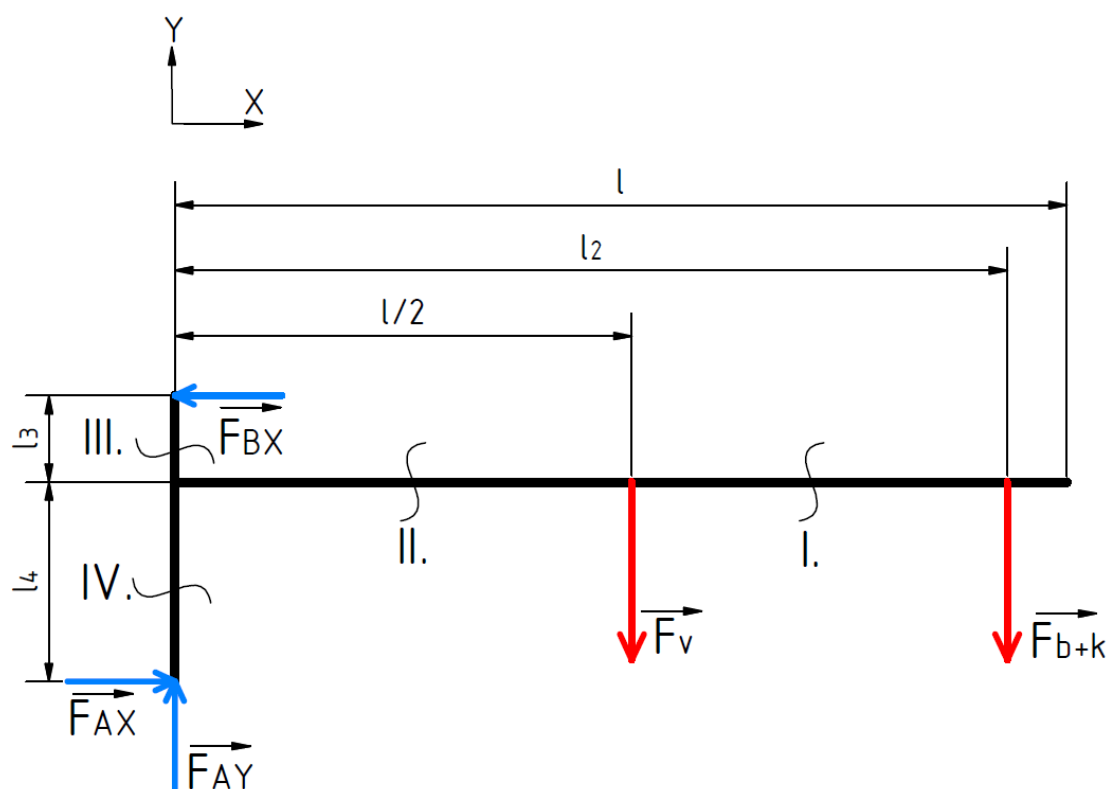
$$M_{OC} = 77\,434 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### 5.3 VÝSLEDNÉ VNITŘNÍ ÚČINKY

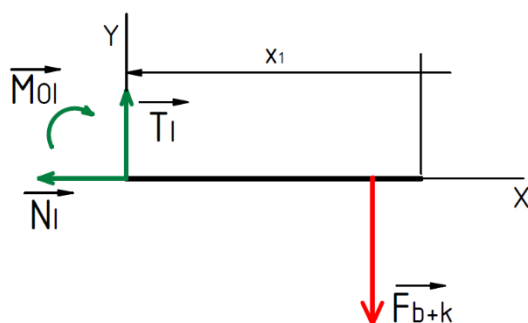
Sloup a výložník rozdělíme na intervaly, ve kterých se bude určovat průběh jednotlivých složek napětí.

#### 5.3.1 VVÚ VÝLOŽNÍKU

Rozdělení na intervaly



Obr. 11 Schéma řezů výložníku

Řešení intervalu  $\Omega_I$ :

Obr. 12 Schéma řezu I. intervalu výložníku

$$\Omega_I: x_1 \in < 0; l_2 - \frac{l}{2} >$$

$$N_I = 0$$

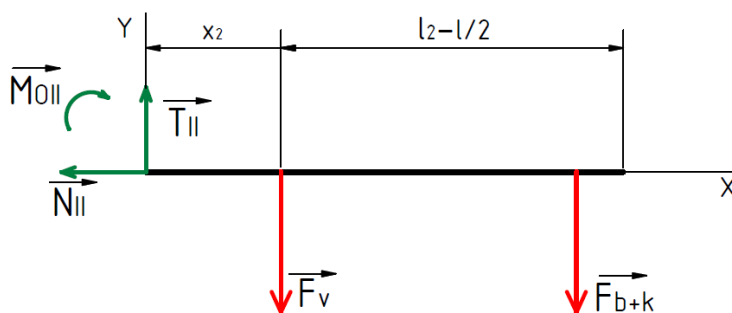
$$T_I = F_{b+k} \quad (22)$$

$$T_I = 21\,781\,N$$

$$M_{OI} = -F_{b+k} \cdot x_1 \quad (23)$$

$$M_{OI} = -21\,781 \cdot (3,1 - \frac{3,2}{2})$$

$$M_{OI} = 32\,671\,N \cdot m$$

Řešení intervalu  $\Omega_{II}$ :

Obr. 13 Schéma řezu II. intervalu výložníku

$$\Omega_{II}: x_2 \in < 0; \frac{l}{2} >$$

$$N_{II} = 0$$

$$T_{II} = F_{b+k} + F_V \quad (24)$$

$$T_{II} = 21\,781 + 1\,133$$

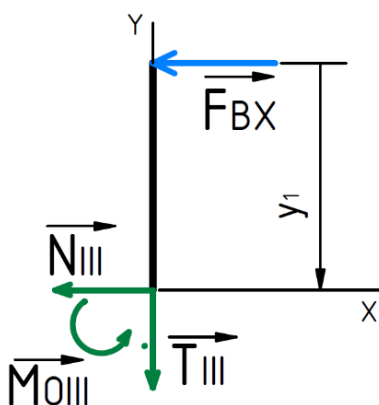
$$T_{II} = 22\,914 \text{ N}$$

$$Mo_{II} = -F_{b+k} \cdot \left(x_2 + l_2 - \frac{l}{2}\right) - F_V \cdot x_2 \quad (25)$$

$$Mo_{II} = -21\,781 \cdot 3,1 - 1\,133 \cdot 1,6$$

$$Mo_{II} = 65\,708 \text{ N} \cdot \text{m}$$

**Řešení intervalu  $\Omega_{III}$ :**



Obr. 14 Schéma řezu III. intervalu výložníku

$$\Omega_{III}: y_1 \in < 0; l_3 >$$

$$N_{III} = 0$$

$$T_{III} = -F_{BX} \quad [N] \quad (26)$$

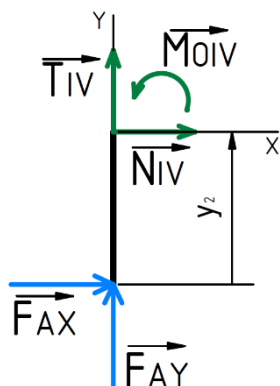
$$T_{III} = 69\,334 \text{ N}$$

$$Mo_{III} = F_{BX} \cdot y_1 \quad [N \cdot m] \quad (27)$$

$$Mo_{III} = 69\,334 \cdot 0,3$$

$$Mo_{III} = 20\,800 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Řešení intervalu  $\Omega_{IV}$ :



Obr. 15 Schéma řezu IV. intervalu výložníku

$\Omega_{IV}$ :  $y_2 \in < 0; l_4 >$

$$N_{IV} = -F_{AY} \quad [N] \quad (28)$$

$$N_{IV} = -23\,143\,N$$

$$T_{IV} = -F_{AX} \quad [N] \quad (29)$$

$$T_{IV} = 69\,334\,N$$

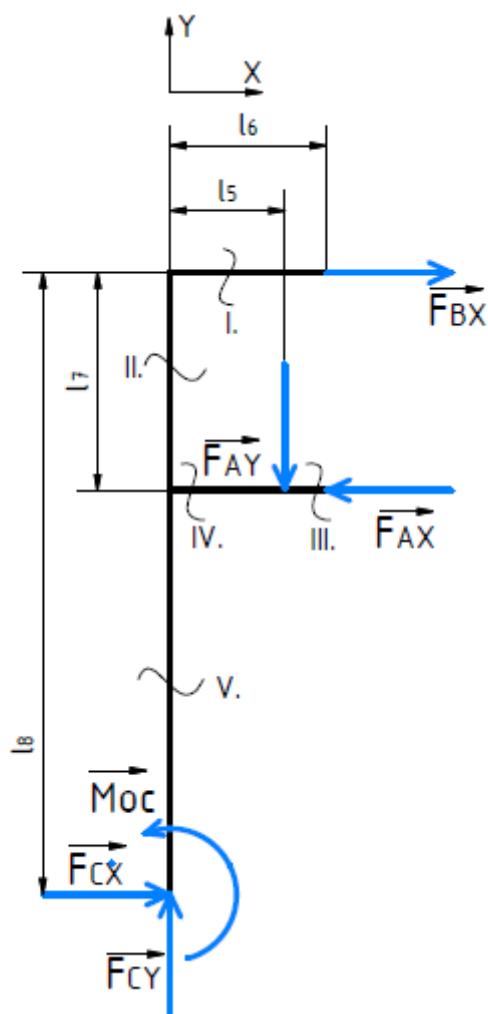
$$M_{oIV} = F_{AX} \cdot y_2 \quad [N \cdot m] \quad (30)$$

$$M_{oIV} = 69\,334 \cdot 0,7$$

$$M_{oIV} = 48\,534\,N \cdot m$$

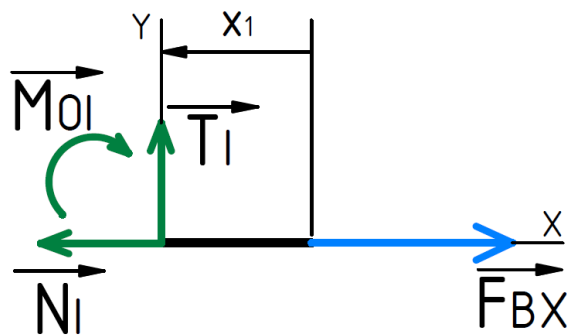
### 5.3.2 VVÚ SLOUPU

#### Rozdělení na intervaly



Obr. 16 Schéma řezů sloupu

#### Řešení intervalu $\Omega_I$ :



Obr. 17 Schéma řezu I. intervalu sloupu

$$\Omega_I: x_1 \in \langle 0; l_6 \rangle$$

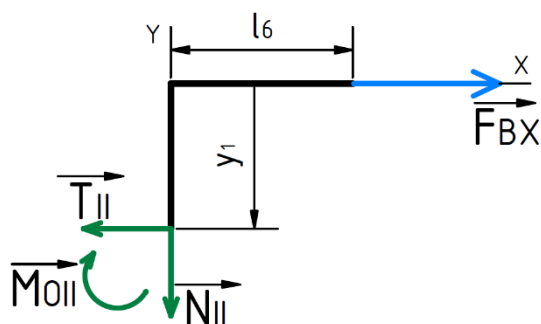
$$N_I = F_{BX} \quad [N] \quad (31)$$

$$T_I = 69\,334\,N$$

$$T_I = 0$$

$$M_{OI} = 0$$

**Řešení intervalu  $\Omega_{II}$ :**



Obr. 18 Schéma řezu II. intervalu sloupu

$$\Omega_{II}: y_1 \in < 0; l_7 >$$

$$N_{II} = 0$$

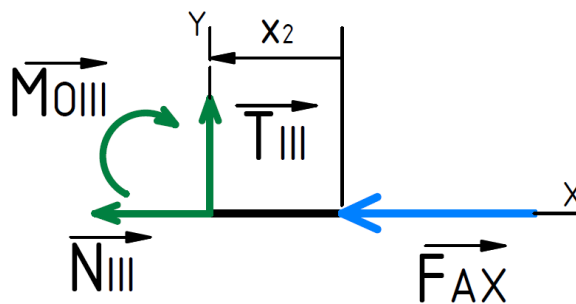
$$T_{II} = F_{BX} \quad [N] \quad (32)$$

$$T_{II} = 69\,334\,N$$

$$M_{oII} = F_{BX} \cdot y_1 \quad [N \cdot m] \quad (33)$$

$$M_{oII} = 69\,334 \cdot 1$$

$$M_{oII} = 69\,334\,N \cdot m$$

Řešení intervalu  $\Omega_{III}$ :

Obr. 19 Schéma řezu III. intervalu sloupu

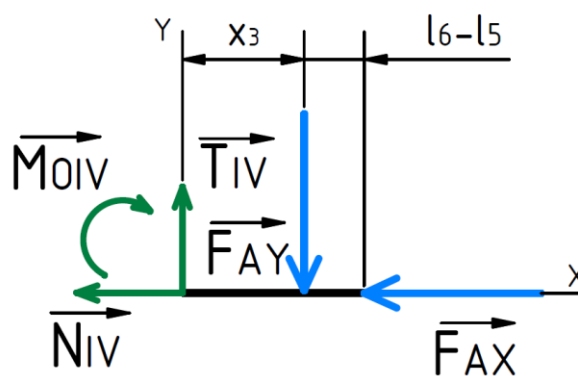
$$\Omega_{III}: x_2 \in < 0; l_6 - l_5 >$$

$$N_{III} = -F_{AX} \quad [N] \quad (34)$$

$$N_{III} = -69\,334\,N$$

$$T_I = 0$$

$$M_{OI} = 0$$

Řešení intervalu  $\Omega_{IV}$ .

Obr. 20 Schéma řezu IV. intervalu sloupu

$$\Omega_{IV}: x_3 \in < 0; l_6 >$$

$$N_{IV} = -F_{AX} \quad [N] \quad (35)$$

$$N_{IV} = -69\,334\,N$$

$$T_{IV} = F_{AY} \quad [N] \quad (36)$$

$$T_{IV} = 23\,143\,N$$

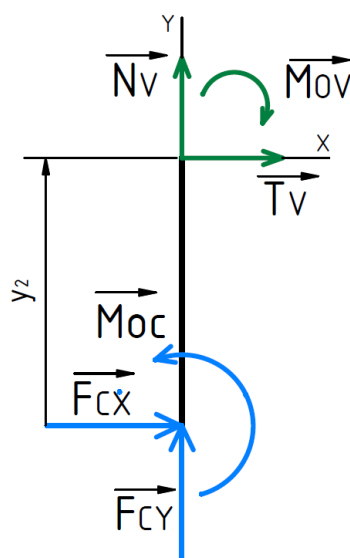


$$M_{oIV} = -F_{AY} \cdot x_3 \quad [N \cdot m] \quad (37)$$

$$M_{oIV} = -23\,143 \cdot 0,31$$

$$M_{oIV} = -7\,174 \text{ N} \cdot m$$

**Řešení intervalu  $\Omega_V$ :**



Obr. 21 Schéma řezu V. intervalu sloupu

$$\Omega_{IV}: x_2 \in < 0; l_8 - l_7 >$$

$$N_V = -F_{CY} \quad [N] \quad (38)$$

$$N_V = 23\,143 \text{ N}$$

$$T_V = -F_{CX} \quad [N] \quad (39)$$

$$T_V = 0 \text{ N}$$

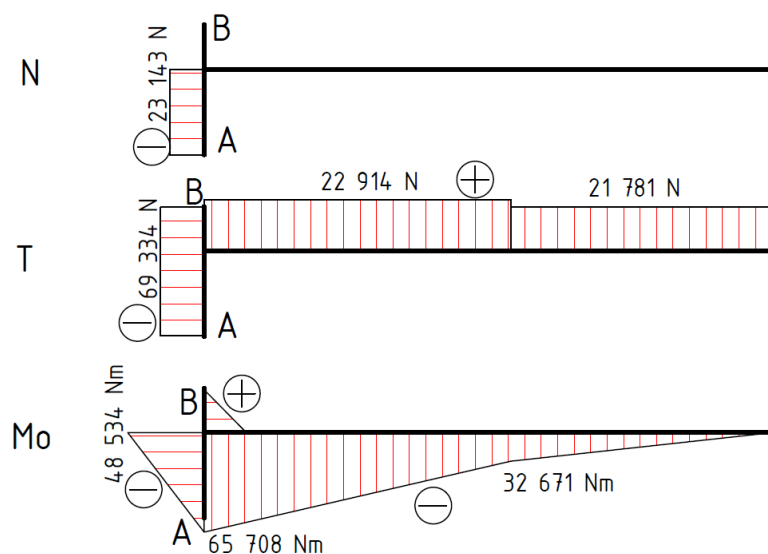
$$M_{oV} = M_{oC} \quad [N \cdot m] \quad (40)$$

$$M_{oV} = 77\,434 \text{ N} \cdot m$$

## 5.4 VYHODNOCENÍ VVÚ

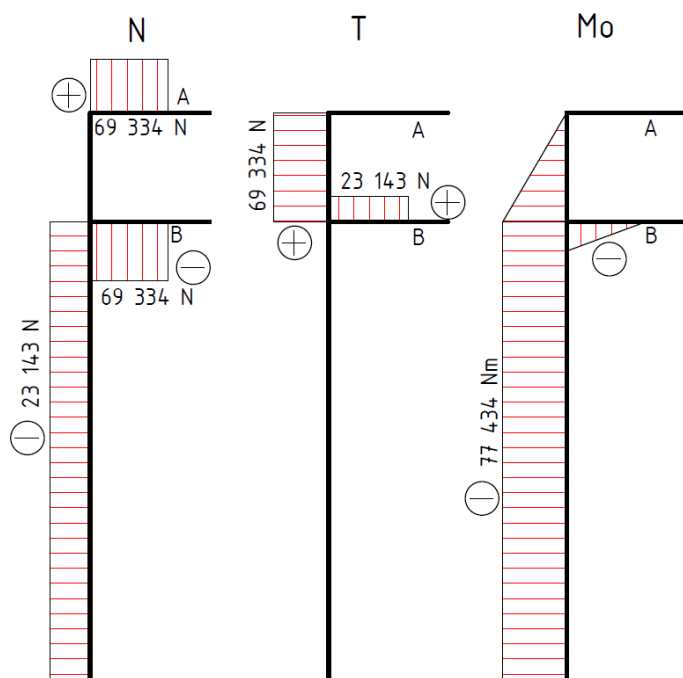
Z grafického zobrazení a vypočtených hodnot vyplývá, že k největšímu zatížení výložníku dochází v bodě styku ramene s příčnickem. A na sloupu je nejkritičtější místo od vetknutí ke spodní patce, kde dochází k největšímu ohybovému momentu.

## 5.4.1 VÝLOŽNÍK



Obr. 22: Grafické vyjádření VVÚ výložníku

## 5.4.2 SLOUP



Obr. 23: Grafické vyjádření VVÚ Sloupu

## 5.5 VÝPOČET SLOUPU

Pro výpočet se uvažuje pouze namáhání ohybem. Namáhání tlakem je z důvodu velikosti zanedbáno.

Sloup je vyroben z bezešvé trubky.

Materiál sloupu: S355J2H (1.0576) dle EN 10210-1

### Výpočtová mez kluzu

$$R_{eS} = \frac{R_{e\min}}{k_n} \quad (41)$$

$$R_{eS} = \frac{355}{2,5}$$

$$R_{eS} = 142 \text{ MPa}$$

Kde:  $R_{e\min} = 355 \text{ MPa}$ , minimální mez kluzu materiálu  
 $k_n = 2,5$ , návrhový součinitel

### 5.5.1 PRŮŘEZOVÝ MODUL V OHYBU

$$R_{eS} = \frac{M_{oS}}{W_{OSmin}} \Rightarrow W_{OSmin} = \frac{M_{oS}}{R_{eS}} \quad (42)$$

$$W_{OSmin} = \frac{77\,434\,000}{142}$$

$$W_{OSmin} = 545 \text{ cm}^3$$

Kde:  $M_{oS} = 77\,434 \text{ Nm}$ , Maximální ohybový moment zatěžující sloup  
 $R_{eS} = 142 \text{ MPa}$ , výpočtová mez kluzu sloupu

### Volba rozměrů trubky

Trubka je volena ze [13] o rozměrech  $D_s = 323,9 \text{ mm}$ ,  $d_s = 303,9 \text{ mm}$

### Průřezový modul trubky

$$W_{OS} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_s^4 - d_s^4}{D_s} \quad (43)$$

$$W_{OS} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{323,9^4 - 303,9^4}{323,9}$$

$$W_{OS} = 751 \text{ cm}^3$$

Kde:  $D_s = 323,9 \text{ mm}$ , vnější průměr trubky  
 $d_s = 303,9 \text{ mm}$ , vnitřní průměr trubky

### 5.5.2 SKUTEČNÝ SOUČINITEL BEZPEČNOSTI

Skutečné napětí ve sloupu:

$$\sigma_S = \frac{M_{oS}}{W_{oS}} \quad [MPa] \quad (44)$$

$$\sigma_S = \frac{77\,134}{751}$$

$$\sigma_S = 102 \text{ MPa}$$

Kde:  $M_{oS} = 77\,434 \text{ Nm}$ , Maximální ohybový moment zatěžující sloup  
 $W_{oS} = 751 \text{ cm}^3$ , Modul průřezu sloupu

Součinitel bezpečnosti

$$k_S = \frac{R_{e \min}}{\sigma_S} \quad [N] \quad (45)$$

$$k_{kS} = \frac{355}{102}$$

$$k_{kS} = 3,48$$

Kde:  $R_{e \min} = 355 \text{ MPa}$ , Minimální mez kluzu materiálu  
 $\sigma_S = 102 \text{ MPa}$ , Skutečné napětí ve sloupu

### 5.6 KONTROLA VÝLOŽNÍKU

Kontrola zvoleného výložníku IPE 270 ze [14].

**Maximální ohybový moment působící na výložník:**

$$M_{ov_{max}} = M_{ov} + M_{ob+k} \quad [N \cdot m] \quad (46)$$

$$M_{ov_{max}} = 1\,812\,800 + 67\,521\,100$$

$$M_{ov_{max}} = 69\,333\,900 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Kde:  $M_{ov} = 1\,812\,800 \text{ Nmm}$ , Ohybový moment od síly  $F_v$   
 $M_{ob+k} = 69\,333\,900 \text{ Nmm}$ , Ohybový moment od síly  $F_{k+b}$

Skutečné napětí ve výložníku:

$$\sigma_v = \frac{M_{ov_{max}}}{W_{vx}} \quad [MPa] \quad (47)$$

$$\sigma_v = \frac{69\,333\,900}{429\,000}$$

$$\sigma_v = 161,6 \text{ MPa}$$

Kde:  $W_{vx} = 429\,000 \text{ mm}^3$ , Modul průřezu výložníku k ose x

## SOUČINITEL BEZPEČNOSTI

$$k_{kv} = \frac{R_{e \min}}{\sigma_v} \quad [N] \quad (48)$$

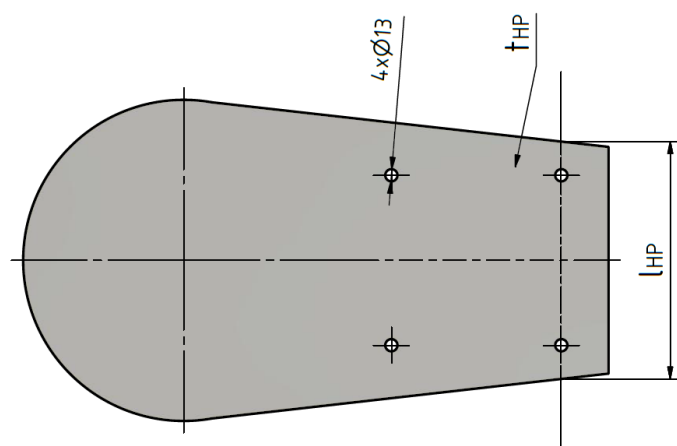
$$k_{kv} = \frac{355}{161,6}$$

$$k_{kv} = 2,2$$

Kde:  $R_{e \min} = 355 \text{ MPa}$ , Minimální mez kluzu materiálu  
 $\sigma_v = 161,6 \text{ MPa}$ , Skutečné napětí ve výložníku

## 5.7 HORNÍ PATKA

Horní patka je zatížena tahem od síly  $F_{BX}$ . Díry ve kterých je našroubováno ložiskový domek působí jako koncentrátoři napětí.



Obr. 24: Kritický průřez horní patky

### Dovolené napětí

$$\sigma_{DHP} = \frac{R_{eP}}{k_k} \quad [MPa] \quad (49)$$

$$\sigma_{DHP} = \frac{355}{2}$$

$$\sigma_{DHP} = 177,5 \text{ MPa}$$

Kde:  $R_{eP} = 355 \text{ MPa}$ , minimální mez kluzu materiálu horní patky  
 $k_n = 2$ , návrhový součinitel

**Součinitel tvaru [1]**

$$\frac{d}{w} = \frac{d_{HP}}{l_{HP}} \quad [MPa] \quad (50)$$

$$\frac{d}{w} = \frac{13}{251}$$

$$\frac{d}{w} = 0,052$$

Kde:  $d_{HP} = 13$  mm, průměr děr v horní patce  
 $l_{HP} = 251$  mm, šířka patky v místě nebezpečného průřezu

**Heywoodův parametr [1]**

$$\sqrt{a} = \sqrt{\frac{174}{R_{MP}}} \quad (51)$$

$$\sqrt{a} = \sqrt{\frac{174}{510}}$$

$$\sqrt{a} = 0,584$$

Kde:  $R_{MP} = 510$  MPa, mez pevnosti patky

**Poloměr vrubu [1]**

$$\sqrt{r} = \sqrt{\frac{d_{HP}}{2}} \quad (52)$$

$$\sqrt{r} = \sqrt{\frac{13}{2}}$$

$$\sqrt{r} = 2,55 \sqrt{mm}$$

Kde:  $d_{HP} = 13$  mm, průměr děr v horní patce

**Součinitel vrubu [1]**

$$\beta = \frac{\alpha}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha - 1)}{\alpha} \cdot \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}} \quad (53)$$

$$\beta = \frac{2,8}{1 + \frac{2 \cdot (2,8 - 1)}{2,8} \cdot \frac{0,584}{2,55}}$$

$$\beta = 2,16$$

Kde:  $\alpha = 2,8$ , součinitel tvaru

**Minimální plocha průřezu:**

$$\sigma_{DHP} = \frac{F_{BX}}{S_{PHmin}} \cdot \beta \Rightarrow S_{PHmin} = \frac{F_{BX}}{\sigma_{DHP}} \cdot \beta \quad (54)$$

$$S_{PHmin} = \frac{69\,334}{177,5} \cdot 2,16$$

$$S_{PHmin} = 843 \text{ mm}^2$$

Kde:  $\beta = 2,16$ , součinitel vrubu

$F_{BX} = 69\,334 \text{ N}$ , tahová síla působící na patku

**Skutečná plocha průřezu:**

$$S_{PH} = (l_{HP} - 2 \cdot d_{HP}) \cdot t_{HP} \quad (55)$$

$$S_{PH} = (251 - 2 \cdot 13) \cdot 15$$

$$S_{PH} = 3\,375 \text{ mm}^2$$

Kde:  $d_{HP} = 13 \text{ mm}$ , průměr děr v horní patce

$l_{HP} = 251 \text{ mm}$ , šířka patky v místě nebezpečného průřezu

$t_{HP} = 15 \text{ mm}$ , tloušťka horní patky

**Skutečné napětí v průřezu:**

$$\sigma_{HP} = \frac{F_{BX}}{S_{PH}} \cdot \beta \quad (56)$$

$$\sigma_{HP} = \frac{69\,334}{3\,375} \cdot 2,16$$

$$\sigma_{HP} = 44,37$$

Kde:  $\beta = 2,16$ , součinitel vrubu

$F_{BX} = 69\,334 \text{ N}$ , tahová síla působící na patku

**Součinitel bezpečnosti:**

$$k_{kp} = \frac{R_{eP}}{\sigma_{HP}} \quad [N] \quad (57)$$

$$k_{kv} = \frac{355}{44,37}$$

$$k_{kv} = 8$$

Kde:  $R_{eP} = 355 \text{ MPa}$ , mez kluzu materiálu horní patky

$\sigma_{HP} = 44,37 \text{ MPa}$ , Skutečné napětí v horní patce

## **DOLNÍ PATKA**

Jelikož spodní patka bude opatřena podpěrou a je ze stejného materiálu o stejné tloušťce jako horní, tak se vzhledem k rezervě v napětí výpočet neuvažuje.



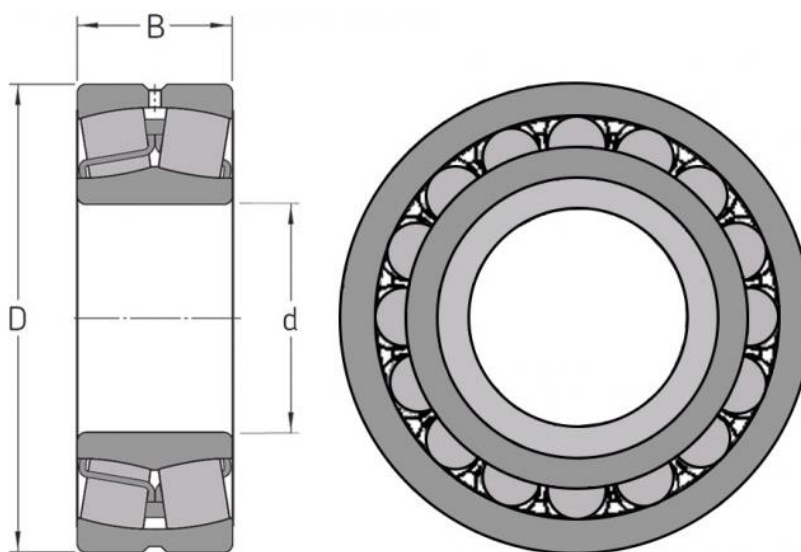
## 6. NÁVRH LOŽISEK NA MECHANISMUS OTOČE

Obě ložiska otoče budou dvouřadá soudečková. Tato ložisko umožňují přenášet jak velké axiální, tak i velké radiální zatížení. Důvodem volby těchto druhů ložisek je ten, že jsou schopny naklápění a kompenzování určitých nepřesností které vznikají při výrobě nebo svařování patek kde jsou ložiska uloženy.

Uvažuje se statické namáhání z důvodu nízkých otáček při otáčení výložníku.

Ložiska jsou volena od firmy SKF.

Při výpočtu vhodného ložiska se postupuje dle [9].



Obr. 25: Ložisko soudečkové dvouřadé [17]

### 6.1 SPODNÍ LOŽISKO OTOČE

Ekvivalentní statické zatížení ložiska [9]

$$P_o = F_r + Y_o \cdot F_a \quad [N] \quad (58)$$

$$P_o = 69\,334 + 1,8 \cdot 23\,143$$

$$P_o = 110\,991\,N$$

Kde:  $F_r = 69\,334\,N$ , radiální síla působící na ložisko =  $F_{AX}$

$F_a = 23\,143\,N$ , axiální síla působící na ložisko =  $F_{AY}$

$Y_o = 1,8$ , součinitel axiálního zatížení

Pro výběr ložiska platí  $C_o = P_o$

Dle [10] tomuto návrhu nejlépe vyhovuje ložisko 22308 E/VA405

Parametry ložiska:  $C_O = 140 \text{ kN}$   
 $D_L = 90 \text{ mm}$   
 $d_L = 40 \text{ mm}$   
 $B_L = 33 \text{ mm}$

## 6.2 HORNÍ LOŽISKO OTOČE

Uvažováno pouze radiální zatížení, protože veškeré axiální síly přenáší spodní válečkové ložisko.

Pro výběr ložiska se uvažuje

**Ekvivalentní statické zatížení ložiska [9]**

$$P_O = C_O = F_r \quad [N] \quad (59)$$

$$C_O = 69\,334 \text{ N}$$

Kde:  $F_r = 69\,334 \text{ N}$ , radiální síla působící na ložisko =  $F_{BX}$

Dle [10] tomuto návrhu nejlépe vyhovuje ložisko 22308 E /VA405

Parametry ložiska:  $C_O = 108 \text{ kN}$   
 $D_L = 90 \text{ mm}$   
 $d_L = 40 \text{ mm}$   
 $B_L = 23 \text{ mm}$

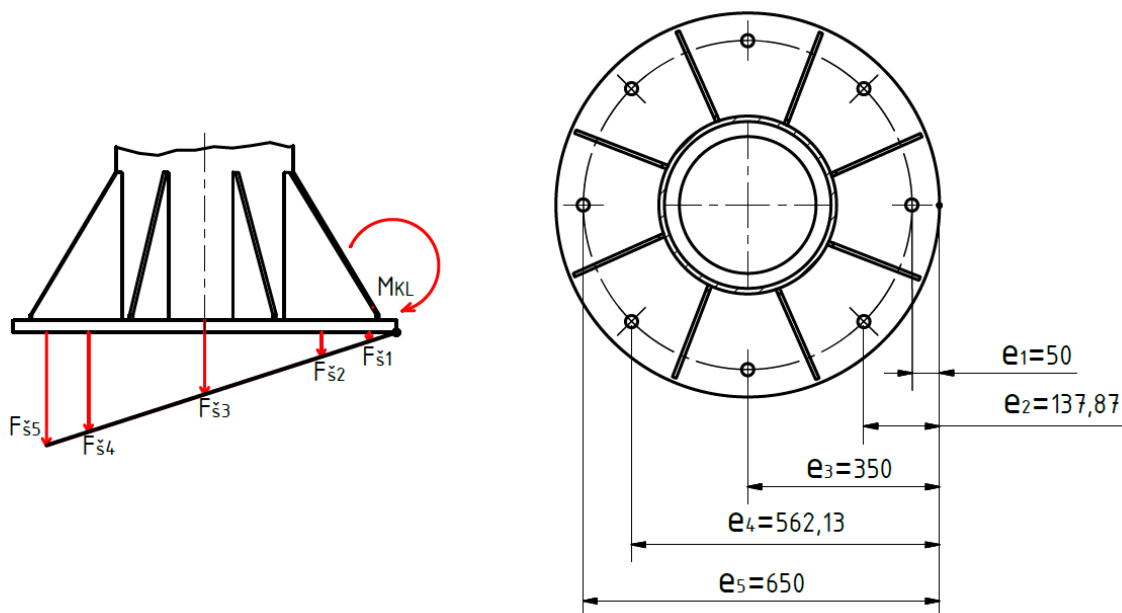
## 7. NÁVRH UKOTVENÍ SLOUPU

Upevnění jeřábu je provedeno pomocí chemických kotev a kotevních šroubů do předem připraveného betonového základu.

Jsou voleny kotevní šrouby s pevností dle [10] 5.8.

Mez kluzu šroubu  $R_{e\dot{s}} = 400 \text{ MPa}$

Klopný moment uvažují jako moment působící v bodě C  $\Rightarrow M_{KL} = M_{0C}$ .



Obr. 26 : Schéma ukotvení

### Dovolené napětí šroubu

$$R_{e\dot{s} \min} = \frac{R_{e\dot{s}}}{k_n} \quad (60)$$

$$R_{e\dot{s} \min} = \frac{400}{2}$$

$$R_{e\dot{s} \min} = 200 \text{ MPa}$$

Kde:  $R_{e\dot{s}} = 640 \text{ MPa}$ , mez kluzu šroubu  
 $k_n = 2$ , návrhový součinitel

### Maximální síla ve šroubu

Výpočet maximální síly ve šroubu dle [1]

Předpokládá se lineární nárůst síly ve šroubech od hrany klopení.

$$\frac{F_{s1}}{e_1} = \frac{F_{s2}}{e_2} = \frac{F_{s3}}{e_3} = \frac{F_{s4}}{e_4} = \frac{F_{s5}}{e_5}$$

$$F_{s1} = F_{s5} \cdot \frac{e_1}{e_5}, F_{s2} = F_{s5} \cdot \frac{e_2}{e_5}, F_{s3} = F_{s5} \cdot \frac{e_3}{e_5}, F_{s4} = F_{s5} \cdot \frac{e_4}{e_5}$$

Rovnice rovnováhy

$$M_{KL} = F_{\S 1} \cdot e_1 + 2 \cdot F_{\S 2} \cdot e_2 + 2 \cdot F_{\S 3} \cdot e_3 + 2 \cdot F_{\S 4} \cdot e_4 + F_{\S 5} \cdot e_5 \quad (61)$$

$$M_{KL} = F_{\S 5} \cdot \frac{e_1^2}{e_5} + 2 \cdot F_{\S 5} \cdot \frac{e_2^2}{e_5} + 2 \cdot F_{\S 5} \cdot \frac{e_3^2}{e_5} + 2 \cdot F_{\S 5} \cdot \frac{e_4^2}{e_5} + F_{\S 5} \cdot e_5$$

$$F_{\S 5} = \frac{M_{KL}}{\frac{e_1^2}{e_5} + 2 \cdot \frac{e_2^2}{e_5} + 2 \cdot \frac{e_3^2}{e_5} + 2 \cdot \frac{e_4^2}{e_5} + e_5}$$

$$F_{\S 5} = \frac{77\,434}{\frac{0,05^2}{0,65} + 2 \cdot \frac{0,138^2}{0,65} + 2 \cdot \frac{0,35^2}{0,65} + 2 \cdot \frac{0,562^2}{0,65} + 0,65}$$

$$F_{\S 5} = 37\,567 \text{ N}$$

Kde:  $M_{KL} = 77\,434 \text{ Nm}$ , klopný moment

$e_1 = 0,05 \text{ m}$ , vzdálenost 1. šroubu od hrany klopení

$e_2 = 0,138 \text{ m}$ , vzdálenost 2. a 3. šroubu od hrany klopení

$e_3 = 0,35 \text{ m}$ , vzdálenost 4. a 5. šroubu od hrany klopení

$e_4 = 0,562 \text{ m}$ , vzdálenost 6. a 7. šroubu od hrany klopení

$e_5 = 0,65 \text{ m}$ , vzdálenost 8. šroubu od hrany klopení

### Návrh průměru šroubu

$$R_{e\text{š min}} = \frac{F_{\S 5}}{S} = \frac{4 \cdot F_{\S 5}}{\pi \cdot d_k^2} \Rightarrow d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\S 5}}{\pi \cdot R_{e\text{š min}}}} \quad (62)$$

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 37\,567}{\pi \cdot 200}}$$

$$d_k = 15,5 \text{ mm}$$

Kde:  $R_{e\text{š min}} = 200 \text{ MPa}$ , dovolené napětí šroubu

$F_{\S 5} = 37\,567 \text{ N}$ , největší síla působící na kotevní šroub

Nejbližší vyšší odpovídající průměr šroubu je dle [10] M16. Jelikož výrobce udává pro tento šroub pevnost betonu pouze 18,9 kN, což je nedostačující, protože největší síla ve šroubu je 37,6 kN, tudíž je volen šroub M24 s pevností betonu 39,6 kN.

**Zvolené šrouby: CH6 M24x290/55**

## 8. KONTROLA SVARŮ

Na jeřábu se nachází více svařovaných míst, následující část je zaměřena na dvě místa. A to svar výložníku a čepem a svar podpěry s výložníkem. Pro všechny svary je použita elektroda EB 125 s mezí kluzu  $R_{eL}=420$  MPa [16]. Postup při výpočtu dle [1].

### 8.1 STANOVENÍ DOVOLENÉHO NAPĚTÍ NA SVAR

Vychází z nejmenší hodnoty meze kluzu svařovaných materiálů, tj. výložník  $R_e = 355$  MPa.

$$\tau_{dsv} = \alpha_{sv} \cdot \frac{R_e}{k_{sv}} \quad (63)$$

$$\tau_{dsv} = 0,7 \cdot \frac{355}{1,4}$$

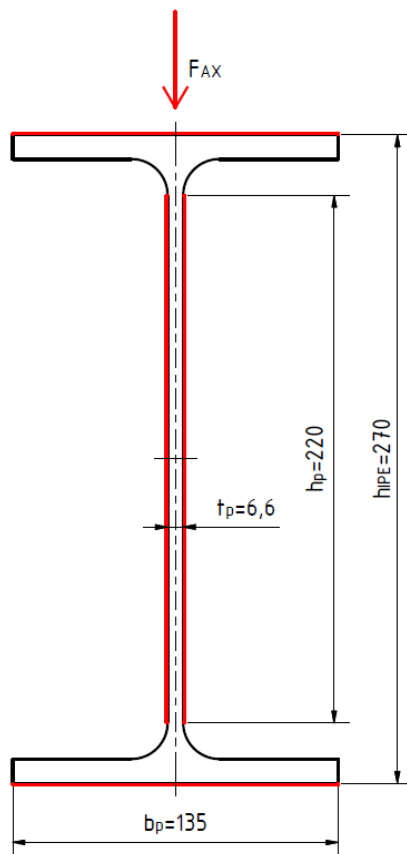
$$\tau_{dsv} = 177,5 \text{ MPa}$$

Kde:  $\alpha_{sv} = 0,7$ , převodní součinitel svarového spoje

$k_{sv} = 1,4$ , součinitel bezpečnosti svaru

### 8.2 SVAR PODPĚRY A VÝLOŽNÍKU

Pro zjednodušení jsou uvažovány pouze vyznačené svary.



Obr. 27 : Svar podpěry a výložníku

**Plocha účinného průřezu svaru [1]:**

$$S_p = 1,414 \cdot z \cdot (b_p + h_p) \quad (64)$$

$$S_p = 1,414 \cdot 8 \cdot (135 + 220)$$

$$S_p = 4\,015 \text{ mm}^2$$

Kde:  $z_s = 8 \text{ mm}$ , tloušťka sváru

$b_p = 135 \text{ mm}$ , šířka IPE profilu

$h_p = 220 \text{ mm}$ , výška stojny IPE profilu

**Smykové napětí od posouvající síly**

$$\tau_p' = \frac{F_{AX}}{S_p} \quad (65)$$

$$\tau_p' = \frac{69\,334}{4\,015}$$

$$\tau_p' = 17,3 \text{ MPa}$$

Kde:  $F_{AX} = 69\,334 \text{ N}$ , síla působící na svar

**Moment působící na svar:**

$$M_{OS} = F_{AX} \cdot b_p \quad (66)$$

$$M_{OS} = 69\,334 \cdot 135$$

$$M_{OS} = 9\,360 \text{ Nm}$$

Kde:  $b_p = 135 \text{ mm}$ , šířka IPE profilu

$F_{AX} = 69\,334 \text{ N}$ , síla působící na svar

**Jednotkový polární kvadratický moment průřezu**

$$J_{zu} = \frac{h_{IPE}^3}{6} + \frac{b_p \cdot h_p^2}{2} \quad (67)$$

$$J_{zu} = \frac{270^3}{6} + \frac{135 \cdot 220^2}{2}$$

$$J_{zu} = 6\,567\,500 \text{ mm}^3$$

Kde:  $b_p = 135 \text{ mm}$ , šířka IPE profilu

$h_p = 220 \text{ mm}$ , výška stojny IPE profile

$h_{IPE} = 270 \text{ mm}$ , výška IPE profilu

**Celkový kvadratický moment průřezu:**

$$J_z = 0,707 \cdot z \cdot J_{zu} \quad (68)$$

$$J_z = 0,707 \cdot 8 \cdot 6\,567\,500$$

$$J_z = 37\,032\,660 \text{ mm}^4$$

Kde:  $z = 8 \text{ mm}$ , tloušťka sváru

**Vzdálenost těžiště svaru k nejvzdálenějšímu místu svaru:**

$$e_s = \sqrt{\left(\frac{h_{IPE}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_p}{2}\right)^2} \quad (69)$$

$$e_s = \sqrt{\left(\frac{270}{2}\right)^2 + \left(\frac{135}{2}\right)^2}$$

$$e_s = 151 \text{ mm}$$

Kde:  $b_p = 135 \text{ mm}$ , šířka IPE profilu

$h_{IPE} = 270 \text{ mm}$ , výška IPE profilu

**Smykové napětí od momentu**

$$\tau_p'' = \frac{M_{os} \cdot e_s}{J_z} \quad (70)$$

$$\tau_p'' = \frac{9,36 \cdot 10^6 \cdot 151}{37 \cdot 10^6}$$

$$\tau_p'' = 38,2 \text{ MPa}$$

**Výsledné smykové napětí:**

$$\tau_p = \sqrt{\tau_p''^2 + \tau_p'^2} \quad (71)$$

$$\tau_p = \sqrt{38,2^2 + 17,3^2}$$

$$\tau_p = 42 \text{ MPa}$$

**Kontrola splnění podmínek pro svar spojující čep a výložník:**

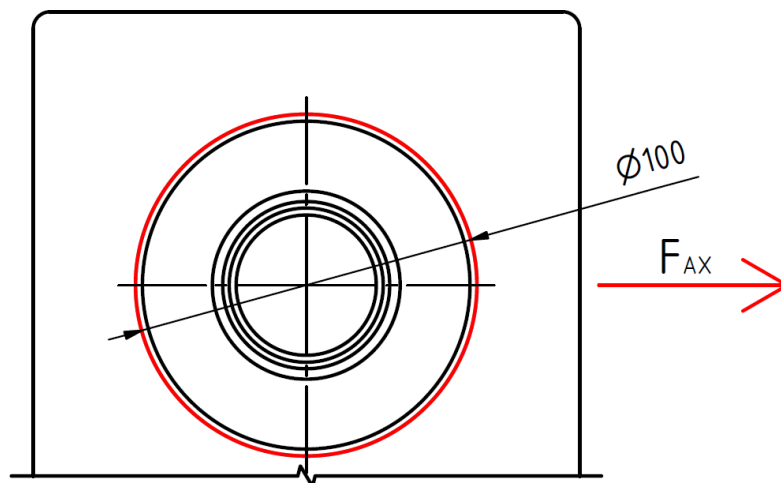
$$\tau_p < \tau_{Dsv} \quad (72)$$

$$42 \text{ MPa} < 177,5 \text{ MPa}$$

**Tento svar vyhovuje.**

### 8.3 SVAR ČEPU A PŘÍČNÍKU

Ve výpočtu se uvažuje pouze smykové namáhání silou  $F_{AX}$ .



Obr. 28 Svar čepu a výložníku

**Plocha účinného průřezu svaru [1]**

$$S_{\zeta} = 1,414 \cdot z \cdot d_{\zeta} \cdot \pi \quad (73)$$

$$S_{\zeta} = 1,414 \cdot 8 \cdot 100 \cdot \pi$$

$$S_{\zeta} = 3\,554 \text{ mm}^2$$

Kde:  $z = 8 \text{ mm}$ , tloušťka sváru  
 $d_{\zeta} = 100 \text{ mm}$ , průměr čepu

**Smykové napětí od posouvající síly [1]**

$$\tau_{\zeta} = \frac{F_{AX}}{S_{\zeta}} \quad (74)$$

$$\tau_{\zeta} = \frac{69\,334}{3\,554}$$

$$\tau_{\zeta} = 19,5 \text{ MPa}$$

Kde:  $F_{AX} = 69\,334 \text{ N}$ , síla působící na svar

**Kontrola splnění podmínek pro svar spojující čep a výložník**

$$\tau_{\zeta} < \tau_{DS} \quad (75)$$

$$19,5 \text{ MPa} < 177,5 \text{ MPa}$$

**Tento svar vyhovuje**



## 9. KONTROLA VZPĚRNÉ STABILITY SLOUPU

Výpočet řešen dle [5]. Jako první se určí geometrické vlastnosti a podle štíhlosti se určí o jaký druh namáhání se jedná.

### Kvadratický moment sloupu

$$J_{sl} = \frac{\pi}{64} \cdot (D_s^4 - d_s^4) \quad (76)$$

$$J_{sl} = \frac{\pi}{64} \cdot (323,9^4 - 303,9^4)$$

$$J_{sl} = 121\,583\,423,5 \text{ mm}^4$$

Kde:  $D_s = 323,9 \text{ mm}$ , vnější průměr sloupu

$d_s = 303,9 \text{ mm}$ , vnitřní průměr sloupu

### Plocha průřezu

$$S_{sl} = \pi \cdot \left( \frac{D_s^2 - d_s^2}{4} \right) \quad (77)$$

$$S_{sl} = \pi \cdot \left( \frac{323,9^2 - 303,9^2}{4} \right)$$

$$S_{sl} = 9\,861,5 \text{ mm}^2$$

Kde:  $D_s = 323,9 \text{ mm}$ , vnější průměr sloupu

$d_s = 303,9 \text{ mm}$ , vnitřní průměr sloupu

### Minimální poloměr setrvačnosti průřezu prutu

$$i_{sl} = \sqrt{\frac{J_{sl}}{S_{sl}}} \quad (78)$$

$$i_{sl} = \sqrt{\frac{121\,583\,423}{9861,5}}$$

$$i_{sl} = 111 \text{ mm}$$

### Redukovaná délka prutu

$$l_{red} = 2 \cdot l_8 \quad (79)$$

$$l_{red} = 2 \cdot 7\,500$$

$$l_{red} = 15\,000 \text{ mm}$$

Kde:  $l_8 = 7\,500 \text{ mm}$ , výška sloupu

**Štíhlost**

$$\lambda = \frac{l_{red}}{i_{sl}} \quad (80)$$
$$\lambda = \frac{15\,000}{111}$$
$$\lambda = 135$$

Štíhlost prutu vychází vyšší než 100, další výpočet bude dle Eulera pro pružný vzpěr.

**Kritické napětí z hlediska vzpěru**

$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \quad (81)$$
$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 210\,000}{135^2}$$
$$\sigma_{kr} = 113,7 \text{ MPa}$$

Kde:  $E = 210\,000 \text{ MPa}$ , modul pružnosti v tahu pro ocel

**Výpočet napětí ve sloupu**

$$\sigma_{sl} = \frac{F_{CY}}{S_{sl}} \quad (82)$$
$$\sigma_{sl} = \frac{23\,143}{9\,861,5}$$
$$\sigma_{sl} = 2,34 \text{ MPa}$$

**Kontrola**

$$\sigma_{sl} < \sigma_{kr} \Rightarrow \text{Vzpěrná stabilita prokázána}$$

## 10. VOLBA PŘÍSLUŠENSTVÍ

### 10.1 KONCOVÉ NÁRAZNÍKY

Koncové nárazníky slouží k tlumení nárazu kočky do výložníku.

Nárazník je volen na základě maximální kinetické energie vzniklé při nárazu.

**Kinetická energie pohlcená při nárazu kladkostroje**

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot (m_k \cdot m_b) \cdot v_p^2 \quad (83)$$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot (87 \cdot 1\,400) \cdot 0,33^2$$

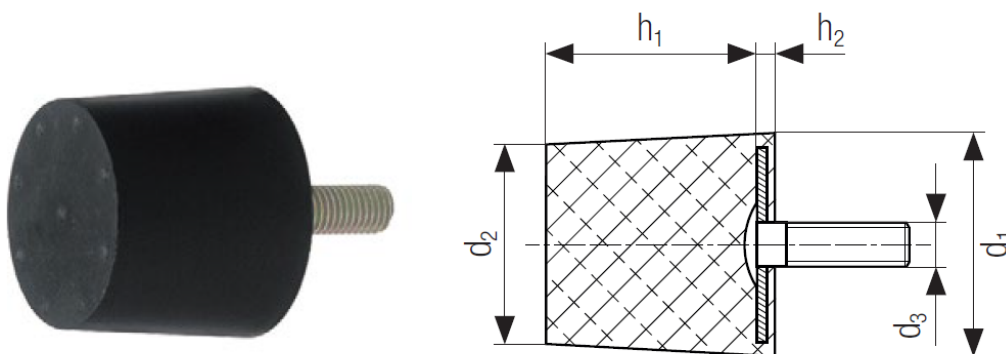
$$E_k = 81 \text{ J}$$

Kde:  $m_b = 1\,400 \text{ kg}$ , maximální hmotnost břemene

$m_k = 87 \text{ kg}$ , hmotnost kladkostroje

$v_p = 0,33 \text{ m/s}$ , rychlost pojezdu kladkostroje

Z [11] jsou voleny pryžové koncové nárazníky CONDUCTIX WAMPFLER s objednací číslem 017220-050x040\*.



Bestellnummer	W <sub>max</sub> [J]	F [kN]	Gewicht [kg]	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	d <sub>3</sub> [mm]	h <sub>1</sub> [mm]	h <sub>2</sub> [mm]	l [mm]	PE <sup>1)</sup> [St.]
017220-050x020	70,0	22,5	0,121	50	47,5	M10	20	3,0	32	50
017220-050x025	75,0	18,0	0,131		47,0		25			50
017220-050x032*	80,0	15,0	0,145		46,5		32			1
017220-050x040*	90,0	13,0	0,160		46,0		40			1

Obr. 29 Koncový nárazník [11]

## 10.2 KABELOVÁ VLEČKA

Z [11] jsem vybral kabelovou vlečku S-line s objednacím číslem 022133-280. Tuto vlečku jsem volil kvůli jednoduchosti a tomu že se na konstrukci nemusí přidělovat často používaný pojezd v C-profilu.



Obr. 30 Kabelová vlečka [11]

## 10.3 RÁDIOVÝ OVLADAČ

Kvůli velké výšce zdvihu byl vybrán z [12] rádiový ovladač s označením MC-2-3. Tento ovladač má 6 dvoupolohových tlačítek se vzájemným blokováním opačných funkcí pro ovládání kladkostroje, 4 jednostupňová tlačítka a nouzové tlačítko STOP.



Obr. 31 Rádiový ovladač MC-2-3 [12]

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vypracovat návrh konstrukce sloupového jeřábu s důležitými pevnostními výpočty, volbou vhodného kladkostroje a pohonu otoče, nakreslit konstrukční výkres sestavy pro nosnost 1 400 kg s délkou vyložení 3 100 mm a výškou zdvihu 6450 mm.

V první části práce je popsána konstrukce sloupových jeřábů vyráběných většinou výrobci zdvihacích zařízení. V návrhové části byl vybrán typ mechanismu otoče pro dané zadání a použité materiály. Vyhodnocením vlastností je vybrán kladkostroj od firmy GIGA s typovým označením CH3 1600, 5-JE.

Dle normy ČSN 13 001-2 byla určena charakteristika provozu, zařadil jeřáb do jednotlivých skupin a spočítal kombinace zatížení. Dále byl proveden statický rozbor a vyšetření výsledných vnitřních účinků potřebných k návrhu sloupu, ramene a patek z hlediska mezního stavu pružnosti, za použití bezpečnostního součinitele  $k=2$ . S ohledem na nebezpečné průřezy jsem se řídil při navrhování komponent k meznímu stavu pružnosti.

Hlavní nosné části jeřábu tvoří bezešvá trubka 324x10 z materiálu 11 503 a výložník IPE 270 také z materiálu 11 503.

Pevnostními výpočty je zjištěno, že konstrukce ve všech kontrolovaných průřezích vyhovuje a splňuje provozní požadavky.

Otočný mechanismus bude obsahovat dvě ložiska. Obě ložiska budou dvouřadá soudečková.

Spodní ložisko bude zachycovat radiální a axiální síly, proto je voleno ložisko s vyšší statickou únosností než horní, které zachycuje pouze radiální síly.

Kotevní deska sloupu bude připevněna k podlaze kotevními šrouby, které pomocí pryskyřicových ampulí upevníme do podlahy. Kotevní šrouby jsou voleny 8xM24.

V poslední části je voleno doplňkové příslušenství koncových nárazníků, kabelové vlečky a v důsledku vysokého zdvihu i bezdrátového ovladače pro ovládání kladkostroje.

V příloze je přiložen výkres sestavy a výrobní výkres sloupu

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard Gordon BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [2] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [3] ČSN EN 13001-2: Jeřáby - Návrh všeobecně - Část 2: Účinky zatížení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2014.
- [4] ČSN EN 13001-3-1+A1: Jeřáby - Návrh všeobecně - Část 3-1: Mezní stavy a prokázání způsobilosti ocelových konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2014.
- [5] MALÁŠEK, Jiří. *Dopravní a manipulační zařízení – skript*. Brno: VUT – Fakulta strojního inženýrství, 2013
- [6] GIGA: *Elektrické řetězové kladkostroje* [online]. [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <http://www.gigasro.cz/elektricke-retezove-kladkostroje.html>
- [7] LIFTKET: *Kladkostroje - LIFTKET STAR* [online]. [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <http://www.kladkostroje.cz/kladkostroje-liftket-star.php>
- [8] DEMAG: *Řetězové kladkostroje* [online]. [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://www.demagcranes.com/cs/produkty/zdvihaci-zarizeni/retezove-kladkostroje>
- [9] SKF, *Soudečková ložiska* [online]. In: . [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/roller-bearings/spherical-roller-bearings/index.html>
- [10] WH-KOTE, *Kotevní technika: Kotvy chemické* [online]. In: . [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <http://ampekotech.cz/kategorie-produktu/kotvy-chemicke/>
- [11] CONDUCTIX WAMPFLER. <https://www.conductix.cz/cz> [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.conductix.cz/cz>
- [12] OS-KOM: *Tlačítkové vysílače MC-2-3 a MC-2-5* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.oskom.cz/mc-2-3-a-mc-2-5>
- [13] FERONA. *Sortimentní katalog* [online]. [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/>

- [14] *TEFOS, Sloupové a konzolové jeřáby* [online]. In: . [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://www.tefos.cz/>
- [15] *TECHSEAL, Ložisko 21308 E SKF* [online]. In: . [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://kvalitnitesneni.cz/cs/rada-21xxx-dvourada-naklapeci/1637-lozisko-21308-e-skf.html>
- [16] *SVÁŘEČKY OBCHOD: BAZICKÉ ELEKTRODY* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.svarecky-obchod.cz/prislusenstvi/elektrody/bazicke-elektrody>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$b_p$	[mm]	šířka IPE profilu
$d_{\check{c}}$	[mm]	Průměr čepu
$d_{HP}$	[mm]	Průměr děr v horní patce
$D_s$	[mm]	Vnější průměr trubky
$d_s$	[mm]	Vnitřní průměr trubky
$e_1$	[mm]	Vzdálenost 1. šroubu od hrany klopení
$e_2$	[mm]	Vzdálenost 2. a 3. šroubu od hrany klopení
$e_3$	[mm]	Vzdálenost 4. a 5. šroubu od hrany klopení
$e_4$	[mm]	Vzdálenost 6. a 7. šroubu od hrany klopení
$e_5$	[mm]	Vzdálenost 8. šroubu od hrany klopení
$E_k$	[J]	Energie vyvolaná nárazem kočky na nárazník
$e_s$	[mm]	Vzdálenost těžiště svaru k nejvzdálenějšímu místu svaru
$F_a$	[N]	Axiální síla působící na ložisko
$F_{AX}$	[N]	Reakce v bodě A působící ve směru osy x
$F_{AY}$	[N]	Reakce v bodě A působící ve směru osy y
$F_b$	[N]	Zatěžující síla od maximální hmotnosti břemene
$F_{b+k}$	[N]	Zatěžující síla od kladkostroje a břemene:
$F_{BX}$	[N]	Reakce v bodě B působící ve směru osy x
$F_{CX}$	[N]	Reakce v bodě C působící ve směru osy x
$F_{CY}$	[N]	Reakce v bodě C působící ve směru osy y
$F_k$	[N]	Zatěžující síla od vlastní hmotnosti kladkostroje
$F_r$	[N]	Radiální síla působící na ložisko
$F_{s5}$	[N]	Největší síla působící na kotevní šroub
$F_v$	[N]	Zatěžující síla od hmotnosti výložníku
$G_v$	[kg/m]	hmotnost 1 m IPE profilu
$h_{IPE}$	[mm]	Výška IPE profilu
$h_p$	[mm]	výška stojny IPE profilu
$i_{sl}$	[mm]	Minimální poloměr setrvačnosti průřezu prutu
$i_v$	[-]	Počet stupňů volnosti tělesa v rovině
$J_{sl}$	[mm <sup>4</sup> ]	Kvadratický průřezu sloupu
$J_z$	[mm <sup>4</sup> ]	Celkový kvadratický moment průřezu



$J_{zu}$	[mm <sup>3</sup> ]	Jednotkový polární kvadratický moment průřezu
$k_{kv}$	[-]	Součinitel bezpečnosti výložníku
$k_n$	[-]	Návrhový součinitel
$k_{sv}$	[-]	Součinitel bezpečnosti svaru
$l$	[mm]	Délka ramene
$l_2$	[mm]	Délka vyložení
$l_2$	[mm]	Délka vyložení ramene
$l_3$	[mm]	Vzdálenost horního ložiska od střednice výložníku
$l_4$	[mm]	Vzdálenost spodního ložiska od střednice výložníku
$l_5$	[mm]	Vzdálenost k ose čepu
$l_6$	[mm]	Celková délka patek
$l_7$	[mm]	Vzdálenost mezi horní a dolní patkou
$l_8$	[mm]	Celková výška konstrukce
$l_{HP}$	[mm]	Šířka patky v místě nebezpečného průřezu
$l_{red}$	[mm]	Redukovaná délka prutu
$m_b$	[kg]	Maximální hmotnost břemene
$m_k$	[kg]	Hmotnost kladkostroje
$M_{KL}$	[Nm]	Klopny moment
$M_{Ob+k}$	[Nm]	Ohybový moment od síly $F_{k+b}$
$M_{OC}$	[N]	Moment působící v bodě C
$M_{OI}$	[Nm]	Ohybový moment I. Intervalu
$M_{OII}$	[Nm]	Ohybový moment II. Intervalu
$M_{OIII}$	[Nm]	Ohybový moment III. Intervalu
$M_{OIV}$	[Nm]	Ohybový moment IV. Intervalu
$M_{OS}$	[Nm]	Maximální ohybový moment zatěžující sloup
$M_{OS}$	[Nm]	Moment působící na svar
$M_{Ov}$	[Nm]	Ohybový moment od síly $F_v$
$M_{OV}$	[Nm]	Ohybový moment V. Intervalu
$M_{OVmax}$	[Nm]	Maximální ohybový moment zatěžující výložník
$m_v$	[kg]	Hmotnost výložníku
$n$	[-]	Počet těles soustavy
$N_I$	[N]	Normálová síla I. intervalu
$N_{II}$	[N]	Normálová síla II. intervalu

$N_{III}$	[N]	Normálová síla III. intervalu
$N_{IV}$	[N]	Normálová síla IV. intervalu
$N_V$	[N]	Normálová síla V. intervalu
$P_O$	[N]	Ekvivalentní statické zatížení ložiska
$R_e$	[MPa]	Výpočtová mez kluzu materiálu
$R_{e\ min}$	[MPa]	Minimální mez kluzu materiálu
$R_{eEL}$	[MPa]	Mez kluzu elektrody
$R_{eP}$	[Mpa]	Minimální mez kluzu materiálu horní patky
$R_{eP}$	[MPa]	Mez kluzu materiálu horní patky
$R_{eš}$	[MPa]	Mez kluzu šroubu
$R_{eš\ min}$	[MPa]	Dovolené napětí šroubu
$R_{ev}$	[MPa]	Výpočtová mez kluzu výložníku
$R_{MP}$	[MPa]	Mez pevnosti patky
$S_{\check{e}}$	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha účinného průřezu svaru čepu
$S_{PHmin}$	[mm <sup>2</sup> ]	Minimální plocha průřezu
$S_{sl}$	[mm <sup>2</sup> ]	Průřez sloupu
$t_{HP}$	[mm]	Tloušťka horní patky
$T_I$	[N]	Posouvající síla I. intervalu
$T_{II}$	[N]	Posouvající síla II. intervalu
$T_{III}$	[N]	Posouvající síla III. intervalu
$T_{IV}$	[N]	Posouvající síla IV. intervalu
$T_V$	[N]	Posouvající síla V. intervalu
$v_z$	[m/s]	Rychlost zdvihu kladkostroje
$W_{os}$	[cm <sup>3</sup> ]	Modul průřezu sloupu
$W_{OSmin}$	[mm <sup>3</sup> ]	Minimální průřezový modul sloupu
$W_{OVmin}$	[mm <sup>3</sup> ]	Minimální průřezový modul výložníku
$Y_O$	[-]	Součinitel axiálního zatížení
$z_s$	[mm]	tloušťka sváru
$\alpha_{sv}$	[-]	Převodní součinitel svarového spoje
$\beta$	[-]	Součinitel vrubu
$\gamma_g$	[-]	Součinitel zatížení od vlastní hmotnosti
$\gamma_{lo}$	[-]	Součinitel zatížení od jmenovitého břemena
$\delta_t$	[-]	Dynamický součinitel pojezdu

$\delta_z$	[-]	Dynamický součinitel zdvihu
$\zeta$	[-]	Počet stupňů volnosti dané vazby
$\eta$	[-]	Počet deformačních parametrů omezených stykovými plochami
$\lambda$	[-]	Štíhlost prutu
$\sigma_{DO}$	[MPa]	Dovolené napětí v ohybu
$\sigma_{HP}$	[MPa]	Skutečné napětí v horní patce
$\sigma_{kr}$	[MPa]	Kritické napětí z hlediska vzpěru
$\sigma_S$	[MPa]	Skutečné napětí ve sloupu
$\sigma_v$	[MPa]	Skutečné napětí ve výložníku
$\Omega_I$	[-]	1. interval tělesa
$\Omega_{II}$	[-]	2. interval tělesa
$\Omega_{III}$	[-]	3. interval tělesa
$\Omega_{IV}$	[-]	4. interval tělesa
$\Omega_V$	[-]	5. interval tělesa
$\mu$	[-]	počet neznámých parametrů
$\nu$	[-]	Počet použitelných podmínek statické rovnováhy
$\mu_F$	[-]	Počet neznámých silových parametrů
$\mu_M$	[-]	Počet neznámých momentových parametrů
$\mu_r$	[-]	Počet neznámých polohových parametrů
$\nu_F$	[-]	Počet silových statických podmínek v rovinné soustavě
$\nu_M$	[-]	Počet momentových statických podmínek v rovinné soustavě
$\tau_{\check{c}}$	[MPa]	Smykové napětí na svar čepu od posouvající síly
$\tau_{dsv}$	[MPa]	Dovoleného napětí na svar
$\tau_p$	[Mpa]	Výsledné smykové napětí na svar podpěry
$\tau_p'$	[MPa]	Smykové napětí na podpěru od posouvající síly
$\tau_p''$	[MPa]	Smykové napětí na podpěru od momentu

## SEZNAM PŘÍLOH

### Výkresová dokumentace

Výkres sestavy

1-SVJ-01

Výkres svarku sloupu

2-SVJ-01-01

Dne 24. 5. 2019 zpracoval Lukáš Flídr